PILDORAS DE FISICA

Para momentos de ocio

Por Sergio Cruzat Suazo
28-02-2026

El Universo y la Luz

El universo para que lo descubras, (José Manuel Carrerira)[1]

Este video presenta una conferencia del **Padre Manuel Carreira**, jesuita, astrofísico y filósofo, quien ofrece un recorrido integral por la **astronomía y la cosmología moderna**, desde sus bases históricas hasta las fronteras de la física actual y sus implicaciones metafísicas.

A continuación, presento un resumen detallado de los puntos clave tratados:

1. Definición y Fundamentos de la Ciencia

Carreira define la ciencia como el **estudio de la actividad de la materia** a través de experimentos comprobables y medidas que permiten establecer relaciones matemáticas. Apoyándose en Einstein, señala que la ciencia presupone que el universo existe **objetivamente** (independientemente del observador) y que es **inteligible** (no es absurdo y tiene razones lógicas).

2. Evolución Histórica de la Astronomía

- **Grecia Clásica:** Desmiente que se creyera que la Tierra era plana; los griegos demostraron su esfericidad y midieron su tamaño siglos antes de Cristo. Aristarco de Samos propuso el modelo heliocéntrico 18 siglos antes que Copérnico.
- **Galileo Galilei:** Con su telescopio, demostró que los astros no eran "perfectos e inmutables" al observar cráteres en la Luna y manchas en el Sol, revolucionando la física de su tiempo.
- **Isaac Newton:** Logró la síntesis de la **ley de la gravedad**, explicando con una misma fórmula la caída de una manzana y el movimiento de los planetas.

3. La Revolución de la Cosmología Moderna (Siglo XX)

- **Relatividad General:** Einstein propuso que la gravedad no es una fuerza externa, sino una **curvatura del espacio-tiempo** causada por la masa.

[1] https://youtu.be/tfLp4aGDB4g?si=H3BZ1wIRjuXHE1D1

- **Universo en Expansión:** Edwin Hubble confirmó experimentalmente que las galaxias se alejan unas de otras. Esto llevó a la conclusión de que el espacio mismo se expande y que el universo tuvo un comienzo.
- **El Big Bang:** La teoría de la **"Gran Explosión"** (propuesta inicialmente por Friedmann y el sacerdote Georges Lemaître) sugiere que el universo comenzó en un estado de altísima densidad y temperatura hace unos **13.700 millones de años**.

4. Pruebas del Origen del Universo

El video destaca dos evidencias fundamentales del Big Bang:

- **Abundancia de elementos:** La proporción observada de **hidrógeno (90%) y helio (10%)** coincide con los cálculos de lo que debió formarse en los primeros minutos del universo.
- **Radiación de Fondo de Microondas:** Detectada en 1965 por Penzias y Wilson, esta radiación es el "calor residual" o las **cenizas de la gran hoguera primitiva**.

5. Vida de las Estrellas y Origen de la Materia

Carreira explica que las estrellas funcionan mediante reacciones nucleares que transforman hidrógeno en helio. Los elementos pesados necesarios para la vida (carbono, hierro, oro) no existían al principio; fueron **sintetizados en el interior de estrellas masivas** y dispersados por el espacio tras explosiones de **supernovas**.

6. El Destino del Universo y el Sentido de la Existencia

- **Final Físico:** Según las leyes de la termodinámica, el universo se dirige hacia un estado de **vacío, oscuridad y frío absoluto** al agotarse toda la energía de las estrellas.
- **El Principio Antrópico:** El conferencista menciona que las propiedades de la materia y las fuerzas fundamentales parecen tener un **ajuste finísimo**. Si alguna fuerza fuera ligeramente distinta, la vida inteligente no habría podido surgir, lo que sugiere que el universo parece "preparado" para nuestra existencia.
- **Límites de la Ciencia:** Concluye que la física puede explicar *cómo* actúa la materia, pero no puede responder **por qué hay algo en lugar de nada** ni cuál es el sentido último de la realidad, preguntas que pertenecen al ámbito de la **metafísica**.

La entropía - Veritasium[2]

Este video de **Veritasium** explica uno de los conceptos más fundamentales y peor comprendidos de la física: la **entropía** y su relación con la energía, la vida y el destino del universo.

Aquí tienes un resumen detallado de los puntos clave tratados en el video:

[2] https://youtu.be/hRLMIFZWqnw?si=B9QDsiyFA_-hlqcK

1. ¿Qué obtenemos realmente del Sol?

Contrario a la creencia popular, la Tierra no "consume" la energía del Sol en términos de cantidad, ya que **irradia al espacio prácticamente la misma cantidad de energía que recibe**; de lo contrario, el planeta se calentaría indefinidamente. Lo que obtenemos del Sol es **energía de baja entropía** (energía concentrada y útil), la cual devolvemos al espacio en forma de energía dispersa (alta entropía).

2. La Historia y Definición de la Entropía

- **Sadi Carnot:** Estudió los motores térmicos ideales y demostró que es **imposible alcanzar una eficiencia del 100%**, ya que siempre se necesita transferir algo de calor a un foco frío para completar el ciclo.
- **Rudolf Clausius:** Acuñó el término **entropía** para medir qué tan dispersa está la energía. Formuló la Segunda Ley de la Termodinámica: la energía del universo es constante, pero su **entropía tiende a un máximo**.
- **Ludwig Boltzmann:** Descubrió que la entropía es una cuestión de **probabilidad estadística**. El calor fluye de caliente a frío simplemente porque hay muchísimas más formas (configuraciones) de que la energía esté distribuida uniformemente que de que esté concentrada.

3. La Entropía y la Vida

- **Orden local vs. Desorden global:** Aunque la entropía total siempre aumenta, es posible crear estructuras ordenadas (baja entropía) localmente, como los seres vivos o un aire acondicionado, siempre que se **aumente la entropía aún más en otro lugar**.
- **La Vida como Disipador:** Se sugiere que la propia vida podría ser una consecuencia de la Segunda Ley, ya que los organismos biológicos son excepcionalmente buenos **convirtiendo baja entropía en alta entropía**, acelerando la tendencia natural del universo hacia el desorden.

4. Cosmología y el Origen del Orden

- **La Hipótesis del Pasado:** Para que el universo haya evolucionado como lo hizo, debió comenzar en un estado de **muy baja entropía durante el Big Bang**.
- **Gravedad y Estructura:** En el universo primitivo, la materia estaba distribuida uniformemente. Debido a la gravedad, este era un estado de baja entropía, ya que la tendencia natural de la gravedad es agrupar la materia en estrellas y galaxias.
- **Agujeros Negros:** Jacob Bekenstein y Stephen Hawking demostraron que los agujeros negros poseen entropía. De hecho, actualmente **casi toda la entropía del universo está ligada a los agujeros negros**.

5. La Flecha del Tiempo y el Final del Universo

- **El Tiempo:** La entropía es la razón por la cual existe una **"flecha del tiempo"**; podemos distinguir el pasado del futuro porque pasamos de estados improbables

(ordenados) a estados más probables (desordenados).

- **Muerte Térmica:** Eventualmente, la energía se dispersará tanto que no podrá ocurrir nada interesante. Este estado final se conoce como la **muerte térmica del universo**, donde la flecha del tiempo desaparecerá.
- **Conclusión:** La complejidad máxima no ocurre ni en la baja ni en la alta entropía, sino en el punto medio, que es donde nos encontramos ahora.

El video concluye que, aunque la entropía nos lleva inevitablemente hacia un final "aburrido", es precisamente ese proceso de dispersión el que permite la **aparición y prosperidad de estructuras complejas como nosotros**.

Quienes sonPenzias y Wilson

Arno Penzias y Robert Wilson fueron dos radioastrónomos estadounidenses que trabajaban en los Laboratorios Bell en Nueva Jersey.

En 1964, mientras intentaban calibrar una antena de microondas, descubrieron una señal de ruido de fondo persistente que provenía de todas las direcciones del cielo por igual, sin importar hacia dónde apuntaran el instrumento. Ese "ruido" resultó ser la **radiación cósmica de fondo de microondas (CMB)**, el eco del Big Bang, es decir, la radiación térmica remanente del origen del universo hace aproximadamente 13.800 millones de años.

Su descubrimiento fue la confirmación experimental más poderosa de la teoría del Big Bang y por ello recibieron el **Premio Nobel de Física en 1978**.

Lo curioso es que al principio pensaron que el ruido podía deberse a excrementos de palomas dentro de la antena, y llegaron a limpiarla, pero la señal persistía. Lo que encontraron "por accidente" resultó ser uno de los hallazgos más importantes de la cosmología moderna. [Claude – Sonet 4.5]

Excelente pregunta, toca el corazón de la física moderna.

La confusión que hay que aclarar primero

Cuando los físicos dicen que **"la velocidad de la luz es una constante fundamental de la naturaleza"**, no se refieren a la velocidad de la luz en el agua o en el vidrio. Se refieren exclusivamente a **la velocidad de la luz en el vacío**, que se denota **c**.
Velocidad de la luz y el sonido en distintos medios

Velocidad de la luz

La luz viaja a diferentes velocidades según el medio, porque los fotones interactúan con los átomos del material y se "retrasan". Esto se describe con el **índice de refracción (n)**, donde v = c/n.

Medio	Velocidad aproximada
Vacío	299,792,458 m/s (exacto, por definición)
Aire	~299,700,000 m/s (casi igual al vacío, n ≈ 1.0003)
Agua	~225,000,000 m/s (n ≈ 1.33)
Aceite	~200,000,000 m/s (n ≈ 1.46–1.48, según el tipo)

Velocidad del sonido

El sonido es completamente diferente: es una onda mecánica que necesita materia

para propagarse. Viaja **más rápido en medios más densos y rígidos**, porque las moléculas están más juntas y transmiten la vibración más eficientemente.

Medio	Velocidad aproximada
Vacío	**0 m/s — no se propaga**
Aire (20°C)	~343 m/s
Agua	~1,480 m/s
Aceite	~1,400–1,700 m/s (según tipo)

¿Por qué se comportan tan distinto?

La luz y el sonido son fenómenos de naturaleza opuesta en este sentido:

La **luz** es una onda electromagnética que no necesita materia. En el vacío va más rápido porque no hay nada que la "frene". En medios materiales, los electrones de los átomos absorben y reemiten los fotones, lo que produce el retraso. Cuanto más denso ópticamente el material, más lenta va.

El **sonido** es una onda de presión mecánica. Necesita moléculas que "empujen" a las vecinas. En el vacío no hay moléculas, así que simplemente no existe. En el agua va cuatro veces más rápido que en el aire porque las moléculas están mucho más juntas y son más difíciles de comprimir, transmitiendo el impulso con más rapidez y eficiencia.

Experimentos que lo avalan

Para la velocidad de la luz:

El primer intento serio fue el de **Ole Rømer en 1676**, quien observó que los eclipses de las lunas de Júpiter llegaban tarde o temprano según la posición de la Tierra en su órbita, y dedujo que la luz tardaba tiempo en recorrer esa distancia. Obtuvo un valor cercano a 220,000 km/s, notable para la época.

Fizeau en 1849 midió la velocidad de la luz en el laboratorio usando una rueda dentada giratoria: enviaba un pulso de luz entre los dientes, lo reflejaba en un espejo lejano y medía a qué velocidad de rotación el rayo de regreso quedaba bloqueado por el siguiente diente.

Foucault en 1850 usó un espejo giratorio y además demostró experimentalmente que la luz va más lenta en el agua que en el aire, confirmando la teoría ondulatoria frente a la corpuscular de Newton.

Hoy la velocidad de la luz en el vacío es una **constante definida**, no medida: el metro mismo se define en función de ella.

Para la velocidad del sonido:

Marin Mersenne en 1636 midió el tiempo entre el fogonazo y el estampido de un cañón a distancia conocida, obteniendo valores razonables.

Experiencias con sonar y ultrasonido en el siglo XX confirmaron con gran precisión la velocidad en líquidos, lo que tiene aplicación directa en ecografías médicas y en la navegación submarina.

La diferencia entre el relámpago y el trueno que todos hemos experimentado es en sí misma un experimento cotidiano: la luz llega casi instantáneamente, el sonido tarda unos 3 segundos por kilómetro.

¿Por qué es una ley y no solo un dato?

Antes de Einstein, se pensaba que la luz debía comportarse como el sonido: que su velocidad dependería de quién la mide y desde dónde. Si vas en un auto a 100 km/h y alguien te lanza una pelota a 50 km/h, tú la ves venir a solo 50 km/h. Lógica pura.

Pero en 1887, **Michelson y Morley** hicieron un experimento muy cuidadoso: intentaron detectar si la Tierra, al moverse por el espacio, "corría contra" la luz o "a favor" de ella, esperando medir diferencias en su velocidad. El resultado fue perturbador: **la velocidad de la luz era la misma en todas las direcciones, sin importar el movimiento de la Tierra.**

Esto era absurdo según la física de Newton. Nadie lo podía explicar.

Einstein y la solución radical

En 1905, Einstein no intentó explicar por qué la luz se comportaba así. Hizo algo más audaz: lo tomó como **punto de partida**, como axioma. Dijo: *aceptemos que c es igual para todos los observadores, sin importar su movimiento, y veamos qué consecuencias tiene.*

Las consecuencias fueron revolucionarias: el tiempo no es absoluto, el espacio se contrae, la masa y la energía son equivalentes ($E = mc^2$). Toda la **Teoría de la Relatividad Especial** nace de ese principio.

Resultó que el universo está construido de tal manera que **nada puede viajar más rápido que c**. No es una limitación tecnológica, es una limitación geométrica del espacio-tiempo mismo.

¿Por qué es una "ley" y no solo una coincidencia?

Porque c aparece en lugares donde nadie la invitó. No solo en la luz, sino en:

Las **ecuaciones de Maxwell** del electromagnetismo, escritas antes de Einstein, ya contenían implícitamente c como resultado de constantes eléctricas y magnéticas. La luz resultó ser una onda electromagnética que viaja exactamente a esa velocidad.

La fórmula $\mathbf{E = mc^2}$ vincula masa y energía a través de c, lo que se verifica en reactores nucleares y aceleradores de partículas todos los días.

La estructura misma del **espacio-tiempo** en la relatividad general usa c como el límite de causalidad: nada, ni siquiera una señal, puede ir más rápido, porque eso permitiría enviar información al pasado y violar la causalidad.

En resumen

Es una ley de la naturaleza porque no es una propiedad de la luz en particular, sino una propiedad del universo mismo. La luz viaja a c en el vacío simplemente porque es una onda electromagnética sin masa, y todo lo que no tiene masa viaja exactamente a esa velocidad. Si mañana descubriéramos otra partícula sin masa, también viajaría a c.

Es el límite de velocidad del universo, grabado en su geometría más profunda.